ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА **24.1.045.01** НА БАЗЕ **ФГБУН ИНСТИТУТА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ УРО РАН**
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **17 сентября 2025 г. № 10**

о присуждении ***Хотову Астемиру Андзоровичу***, гражданину России,

ученой степени кандидата **химических** наук.

Диссертация «Электрохимический синтез интерметаллических и тугоплавких соединений диспрозия в галогенидных расплавах» по специальности 1.4.6. Электрохимия принята к защите **16 июля 2025 г., протокол № 8**, диссертационным советом 24.1.045.01, созданным на базе Института высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, 620066, г. Екатеринбург, ул. Академическая, д. 20; приказ № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Хотов Астемир Андзорович, 15 ноября 1996 года рождения, в 2020 г. окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ) по направлению подготовки 04.04.01 Химия; в 2024 г. окончил аспирантуру КБГУ по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки; работает **ассистентом кафедры** неорганической и физической химии КБГУ.

Диссертация выполнена на кафедре неорганической и физической химии КБГУ.

Научный руководитель – доктор химических наук, профессор ***Кушхов Хасби Билялович***, заведующий кафедрой неорганической и физической химии КБГУ.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Сергей Александрович, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией высокотемпературной химии и электрохимии Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН»;

Волкович Владимир Анатольевич, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина ***дали положительные отзывы на диссертацию***.

Ведущая организация ФГБУН Институт металлургии им. академика Н.А. Ватолина Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, в своём положительном отзыве, подписанном Шубиным Алексеем Борисовичем, доктором химических наук, заведующим лабораторией металлургических расплавов, указала, что диссертация А.А. Хотова вносит вклад в развитие научных основ электрохимического синтеза в высокотемпературных расплавах функциональных материалов, содержащих диспрозий, которые востребованы в высокотехнологичных отраслях промышленности. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии электрохимического синтеза ультрадисперсных порошков интерметаллидов диспрозия с металлами триады железа, его боридов и силицидов.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе 11 по теме диссертации, из них **3 статьи** в рекомендуемых ВАК научных изданиях (доля авторского права в каждой не менее 40%) и 7 публикаций в материалах конференций.

Наиболее значимые научные работы:

1. Kushkhov Kh.B., Khotov A.A., Ali Zh.Z., Kholkina A.S. Mechanism of Dy^{3+} and Nd^{3+} Ions Electrochemical Coreduction with Ni^{2+}, Co^{2+}, and Fe^{3+} Ions in Chloride Melts // Materials. − 2021. − № 14. − P. 7440. − Doi: 10.3390/ma14237440. − (Q1).
2. Kushkhov Kh.B., Kholkina A.S., Khotov A.A., Ali Zh. Z., Zhanikayeva Z. A., Kvashin V.A., Kovrov V.A., Mushnikova A.A. and Mirzayants D.P. Electrochemical Behavior of Dysprosium Ion and Its Co-Electroreduction with Nickel Ions in the Molten KCl-NaCl-CsCl Eutectic // Processes. − 2023. − 11. – 2818. − Doi: 10.3390/pr11102818. (Q2).
3. Kushkhov Kh.B., Khotov A.A., Kholkina A.S, Khasanov V.V. and Dudarova D.G. Mechanism of the Combined Electroreduction of Dy^{3+} and Fe^{3+} Ions in the KCl–NaCl–CsCl Eutectic Melt at 823 K // Russian Metallurgy (Metally). − 2024. −№ 2. −P. 239–246. − Doi: 10.47928/1726-9946-2024-24-1-58-71, (Q4).

На автореферат прислали положительные отзывы:

1. Доктор химических наук ***Гутерман Владимир Ефимович***, главный научный сотрудник химического факультета Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону. Заданы вопросы и сделаны замечания:

- Различный вид пиков на ЦВА-кривых (рис. 1а и 16) не прокомментирован.
- Утверждение «Чем отрицательнее потенциал электролиза, тем больше в катодном осадке интерметаллида с большим содержанием диспрозия» (с. 13) очевидно.
- Были ли сняты вольтамперограммы в фоновых растворах, не содержащих Dy^{3+}?
- Возможен ли одностадийный перенос 4 электронов при восстановлении SiF_6^{2-}?

2. Кандидат технических наук ***Бочаров Максим Сергеевич,*** руководитель направления «Кальций и сплавы» ООО «РОСАТОМ МЕТАЛЛТЕХ, г. Москва:

- Какой режим электролиза эффективнее для синтеза соединений диспрозия?
- Нет сведений о влиянии температуры на состав получаемых фаз.
- Какова перспектива использования результатов диссертационной работы?

3. Доктор химических наук ***Козадеров Олег Александрович***, заведующий кафедрой физической химии Воронежского государственного университета:

- Линейность зависимости I_p от $v^{1/2}$ не является признаком обратимости процесса.

4. Доктор химических наук ***Кононенко Наталья Анатольевна***, профессор кафедры физической химии Кубанского государственного университета, г. Краснодар.

- В автореферате не упоминается о проведенном автором литературном обзоре.
- Как измерялась ЭДС между интерметаллидами, в двухфазной области?

5. Доктор химических наук, академик РАН ***Антипов Евгений Викторович,*** заведующий кафедрой электрохимии Химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова:

- Не описана подробно процедура анализа пиков электровосстановления диспрозия.
- Фраза «Электровосстановление ионов Dy^{3+} протекает в одну стадию с переносом трех электронов" неудачна. Вероятно, имелось в виду отсутствие продуктов неполного восстановления ионов диспрозия.
- Две площадки на рис. 23 означает наличие двух фаз силицида диспрозия?
- Были ли получены чистые фазы интерметаллидов, боридов и силицидов?

6. Доктор технических наук ***Григорьев Сергей Александрович,*** профессор кафедры химии и электрохимической энергетики Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва:

- Подписи на рентгенограммах плохо различимы.

7. Кандидат химических наук ***Бузько Владимир Юрьевич***, заведующий лабораторией перспективных наноматериалов Кубанского государственного университета, г. Краснодар:

- В таблице 2 значения E (V, vs Dy^{3+}/Dy) следовало округлить до сотых единиц.
- В таблице 2 значения ΔG (кДж/моль) следовало округлить до целых единиц.
- На рис. 12 отсутствует исходная микрофотография, приведена только карта ЭДС.
- С чем связано «гало» в области высоких углов на рис. 18?
- Почему различны коэффициенты диффузии ионов с близкими радиусами Ni^{2+} и Co^{2+}?

8. Кандидат химических наук ***Алексеенко Анастасия Анатольевна,*** ведущий научный сотрудник Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

- Чем обусловлен выбор температуры 823 К для восстановления диспрозия?
- Каковы причины гистерезиса на CV-кривой восстановления диспрозия?
- Какова природа первых ступеней на хронопотенциограммах для KCl-NaCl-$DyCl_3$?
- На некоторых рисунках в автореферате подписи трудночитаемы.

9. Кандидат химических наук ***Рабаданов Камиль Шахриевич,*** ведущий научный сотрудник Института физики имени Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН и PhD ***Ахмедов Магомед Абдурахманович,*** научный сотрудник того же Института, г. Махачкала:

- Наложение пиков в системе Dy-Fe осложняет интерпретацию вольтамперограмм.
- Графики визуально перегружены.
- Анализ по интегральному заряду подтвердил бы многостадийность процессов.

10. Кандидат химических наук ***Пантелеева Виктория Вячеславовна,*** доцент кафедры физической химии ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь:

- Как исследованные параметры синтеза влияют на выход по току?

- Зависит ли состав катодного продукта от времени электролиза?
- Каковы оптимальные параметры электрохимического синтеза?

11. Кандидат технических наук ***Петриев Илья Сергеевич,*** ведущий научный сотрудник, директор НИИ Водородной энергетики КубГУ, г. Краснодар.
- Отсутствуют значения термодинамических расчетов для систем Dy-Co, Dy-Fe.

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации.

Оппоненты являются признанными специалистами в области высокотемпературной электрохимии и синтеза функциональных материалов в солевых расплавах (Кузнецов С.А.), а также технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов (Волкович В.А.). Ведущая организация, Институт металлургии УрО РАН, активно развивает физико-химические основы металлургических процессов. Значительные достижения института включают разработку электротермических методов для получения интерметаллидов, композиционных материалов и сплавов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод электрохимического синтеза интерметаллических и тугоплавких соединений диспрозия с металлами триады железа, бором и кремнием, основанный на процессах их совместного электровыделения из хлоридных и хлоридно-фторидных расплавов;

предложен механизм электросинтеза, который включает в себя процессы совместного электровыделения диспрозия с никелем, кобальтом, железом, бором или кремнием в среде расплавленных солей и последующего их взаимодействия на катоде с образованием высокодисперсных порошков интерметаллидов, боридов или силицидов;

доказана возможность получения как однофазных, так и смеси фаз интерметаллидов диспрозия с металлами триады железа, соединений с бором и кремнием в хлоридных и хлоридно-фторидных расплавах при варьировании состава электролита, режима электролиза, температуры.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что электрохимический синтез интерметаллидов диспрозия с металлами триады железа в расплавах KCl-NaCl-CsCl и KCl-NaCl возможен в кинетическом режиме, поскольку потенциалы выделения этих металлов на инертном электроде различаются примерно на 1,5 В; в присутствии ионов Fe^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+} эта величина уменьшается за счет деполяризации электровосстановления диспрозия на предварительно выделившемся металлическом никеле, кобальте или железе;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных электрохимических и физико-химических методов анализа: циклическая и квадратно-волновая вольтамперометрия; хронопотенциометрия разомкнутой цепи; потенцио- и гальваностатический электролиз; сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным анализом; рентгенофазовый и рентгенофлюоресцентный методы анализа.

изложены закономерности электрохимического поведения ионов Dy^{3+}, Fe^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, BF_4^-, SiF_6^{2-} в расплавах KCl-NaCl, KCl-NaCl-CsCl и KF-KCl, содержащих соли одного из этих ионов, а также при совместном нахождении их с трихлоридом диспрозия;

изучена термодинамика образования соединений $DyNi_5$, Dy_2Ni_7, $DyNi_3$, DyNi, для которых измерением потенциалов плато на хронопотенциограммах разомкнутой цепи относительно условного стандартного электродного потенциала Dy^{3+}/Dy^0 определены ЭДС для каждой пары сосуществующих в двухфазной области интерметаллидов, рассчитаны парциальные мольные энергии Гиббса и активности диспрозия.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики:

определены параметры электрохимического синтеза соединений диспрозия (состав электролита, потенциал, плотность тока, температура), которые могут быть использованы при разработке технологии производства ультрадисперсных порошков: для интерметаллидов $DyMe_5$, $DyMe_3$, $DyMe_2$ (Me = Ni, Co, Fe) это расплавы KCl-NaCl-CsCl и KCl-NaCl, содержащие хлориды диспрозия и металлов триады железа, потенциалы -(1,7÷2,1) В, температура 823÷973 К; для борида DyB_4 и

силицида $DySi_2$ – расплавы KF-KCl-$DyCl_3$-KBF_4 и KF-KCl-$DyCl_3$-K_2SiF_6, потенциал - 2,0 В или плотность тока 1,0 А/см^2, температура 973 К.

Оценка достоверности результатов исследования

результаты получены на сертифицированном оборудовании: рентгеновский дифрактометр D2 Phaser, электронный микроскоп Tescan VEGA 3, энергодисперсионный спектрометр Oxford Instruments X-Max 80, потенциостат-гальваностат Autolab PGSTAT 30**,** потенциостат-гальваностат Autolab PGSTAT302N рентгенофлюоресцентный элементный анализатор Спектроскан МАКС-GV.

установлены согласованность результатов определениия количества стадий электровосстановления металлов, полученных двумя методами (циклической и квадратно-волновой вольтамперометрией), а также рассчитанных автором коэффициентов диффузии ионов диспрозия, никеля, кобальта, железа в расплаве KCl-NaCl-CsCl с литературными данными;

использованы современные методики обработки экспериментальных данных с помощью следующих программ: «Nova 1.11» для анализа циклических и квадратно-волновых вольтамперограмм, хронопотенциограмм разомкнутой цепи; «DIFFRAC.EVA» для расшифровки дифрактограмм; «Aztec» для количественного определения элементного состава полученных порошков.

Личный вклад соискателя: анализ литературных данных, изготовление электрохимических ячеек, проведение экспериментов и обработка полученных результатов. Все исследования проведены автором на оборудовании ЦКП «Рентгеновская диагностика материалов» КБГУ. Оформление, анализ и обсуждение полученных экспериментальных данных; подготовка публикаций выполнены автором совместно с научным руководителем.

В соответствии с **паспортом специальности 1.4.6. Электрохимия** работа направлена на изучение процессов совместного электроосаждения диспрозия с никелем, кобальтом, железом, бором или кремнием в хлоридных и хлоридно-фторидных расплавах.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских организациях и высших учебных заведениях, деятельность которых связана с изучением и разработкой методов электрохимического синтеза

функциональных материалов в ионных расплавах, создания материалов для водородной энергетики: в Институте высокотемпературной электрохимии УрО РАН (Екатеринбург), НИИ неорганических материалов им. А.А. Бочвара (г. Москва), Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургском государственном университете, Челябинском государственном университете и НИЦ «Курчатовский институт».

В ходе защиты диссертации критических замечаний сделано не было. Соискатель Хотов А.А. ответил на все заданные ему вопросы.

Диссертация Хотова А.А. представляет научно-квалификационную работу, в которой решена важная для развития электрохимии расплавленных солей задача: установлены закономерности совместного электрохимического восстановления ионов диспрозия с ионами металлов триады железа, бора, кремния в хлоридных и хлоридно-фторидных расплавах и реализован на их основе синтез соединений диспрозия, востребованных в высокотехнологичных отраслях промышленности.

На заседании 17 сентября 2025 г. диссертационный совет принял решение: присудить Хотову А.А. ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.6. Электрохимия.

При проведении тайного **голосования** диссертационный совет в количестве **18 человек**, из них **6** докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: **18** «**за**», **0** «**против**», **0 недействительных бюллетеней**.

Председатель диссертационного совета
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор Зайков Юрий Павлович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат химических наук Кулик Нина Павловна

19 сентября 2025 года